

# ***Aliviaderos tipo laberinto y en tecla de piano***

*Carlos Granell Ninot \**, *Miguel Ángel Toledo Municio\*\** y *Andrea Marinas \*\**

*\*\*JESÚS GRANELL Ingenieros Consultores*

*\*\* Universidad Politécnica de Madrid*

## **1. Introducción**

El Departamento de presas de la ETSICCP, el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX el Centro Internacional de Modelación Numérica (CIMNE), la empresa VEMSA y la compañía de ingeniería JESÚS GRANELL Ingenieros Consultores viene acometiendo un proyecto de investigación en materia de vertederos tipo laberinto.

El objetivo principal de la investigación es la obtención de conocimientos y herramientas que permitan un diseño razonado de este tipo de estructuras hidráulicas. Además, se estudian otros efectos en su comportamiento, como son las condiciones hidráulicas de aproximación a la embocadura.

La investigación se basa en el ensayo hidráulico en modelos físicos complementado por modelos numéricos mediante aplicaciones de última generación. Descripción del proceso de diseño y construcción del modelo.

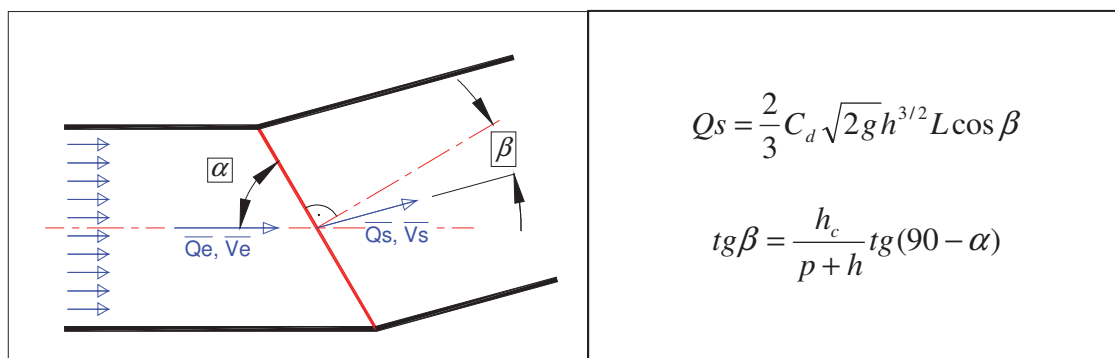
## **2. Aspectos previos de la investigación**

El comportamiento hidráulico de los vertederos tipo laberinto es marcadamente tridimensional y, en principio, difícilmente simplificable mediante la hidráulica clásica por todos conocida. Es por ello que en la actualidad todos los procedimientos de dimensionamiento de estas estructuras son de tipo experimental.

No obstante un profundo análisis de las variables hidráulicas en el entorno del vertedero permite discernir una serie de fenómenos físicos.

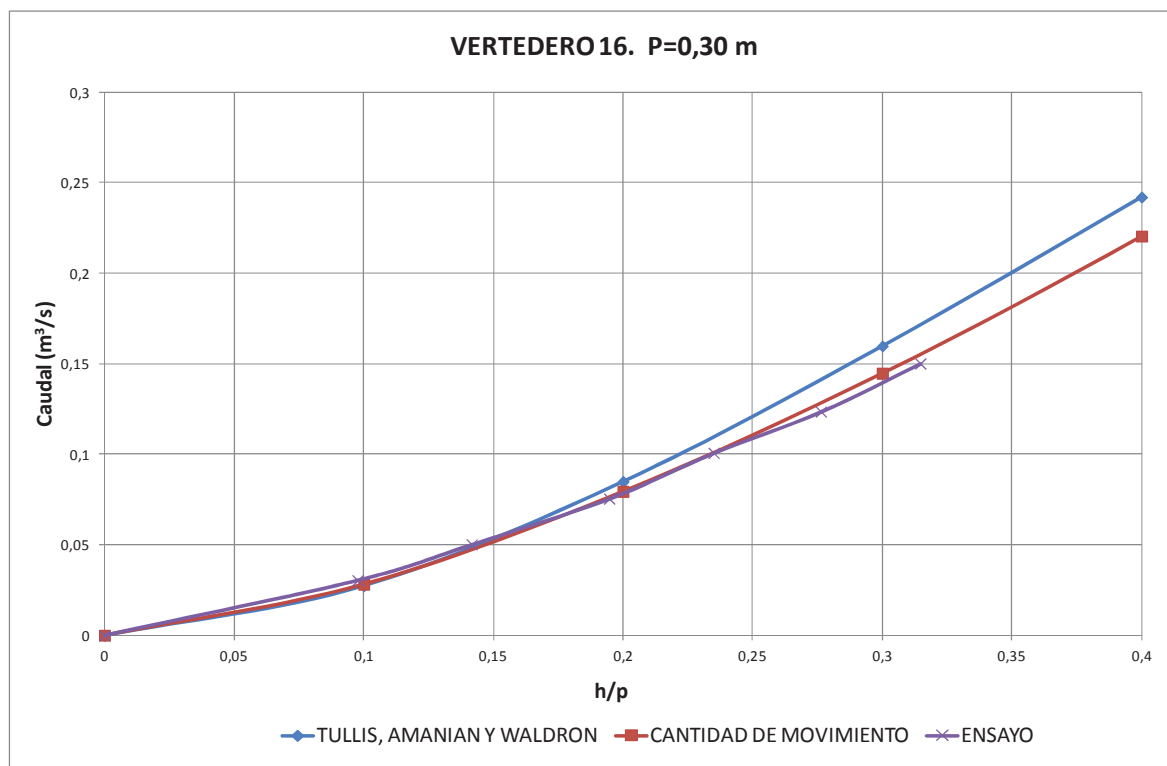
En primer lugar, las caras diagonales del vertedero producen una refracción de las líneas de corriente. La aplicación del teorema de la cantidad de movimiento a un vertedero oblicuo a la dirección del flujo demuestra que la dirección de salida de las líneas de corriente es una intermedia entre la de entrada y la perpendicular a la cara del vertedero y cuyo valor queda determinado por las variables hidráulicas de la aproximación.

El desarrollo matemático de este teorema demuestra:



La sola aplicación del teorema de la cantidad de movimiento para calcular la capacidad hidráulica de un vertedero tipo laberinto ofrece resultados tan aproximados como pueden ofrecer los procedimientos experimentales habituales para el cálculo de estas estructuras.

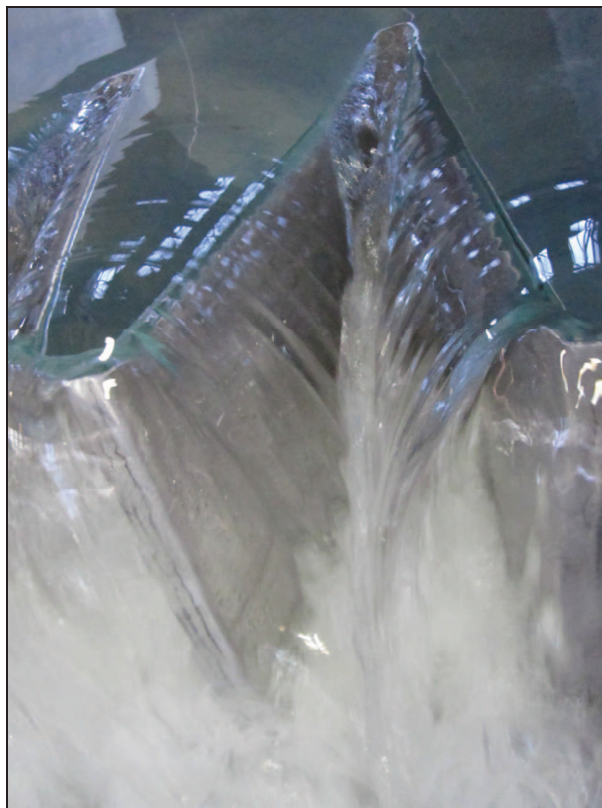
Se adjunta un ejemplo para uno de los vertederos ensayados.



Por otra parte, en el entorno de los vértices de aguas arriba, en donde la directriz en planta del vertedero quiebra cambiando bruscamente su orientación, se producirá una interferencia de las líneas de corriente de salida de ambas caras del vertedero. El fenómeno es complejo, ya que estas interferencias producen un espesamiento de la lámina, una reducción de las velocidades y consecuentemente cierta tendencia a la propagación del fenómeno hacia aguas arriba, afectando a zonas contiguas de los módulos del vertedero.



Finalmente la aproximación a los vértices de aguas abajo, con el agua ya en el dominio del laberinto, se encuentra condicionada por la evacuación en las caras diagonales que confluyen en ese vértice, de tal manera que se produce una depresión gradual de la lámina distinta de la que tiene lugar en un vertedero en pared delgada.



El comportamiento de los vertederos tipo laberinto, por tanto, es complejo, pero simplificable si se consiguen aislar los distintos fenómenos al objeto de cuantificar su efecto en la capacidad hidráulica: Estos fenómenos, como se ha expuesto son la oblicuidad de las caras del vertedero, la interferencia de láminas en los vértices de aguas arriba y la depresión gradual de la lámina en la aproximación a los vértices de aguas abajo.

El estudio detallado de cada uno de estos tres fenómenos es el principal objetivo de la investigación comenzada.

### 3. Investigación realizada

Se ha construido un recinto de ensayo de 7,50 x 6,00 m y 1,40 m de altura, puede ser alimentado de agua según distintas direcciones hasta 150 l/s. Se espera que en breve se pueda proveer hasta 500 l/s.

El recinto se encuentra equipado con 6 limnígrafos palpadores y dos sondas de ultrasonidos montados sobre un carro que desliza apoyado en los muros extremos del recinto, y que conectados a un equipo informático, permiten el registro continuo de los niveles piezométricos en las distintas zonas del embalse y de la aproximación al vertedero.

Se adjunta una fotografía del recinto de ensayo.



La medida del caudal se realiza mediante caudalímetro en la bomba, que ha sido previamente calibrado.

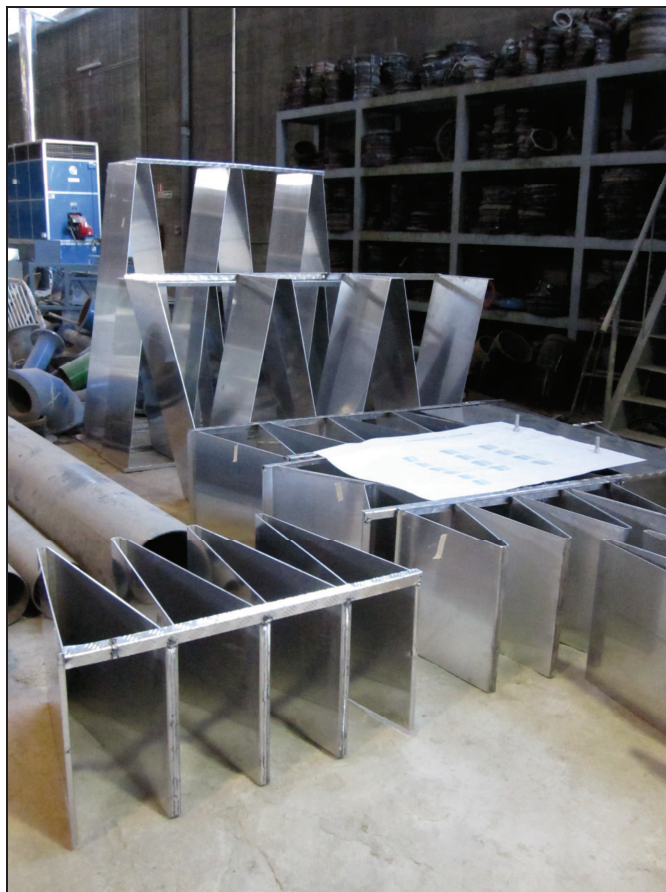
El recinto asimismo se encuentra preparado para adaptarse a distintas disposiciones del vertedero: diferentes alturas, disposición en canal, en embalse, con los vértices extremos hacia aguas arriba y con los vértices extremos hacia aguas abajo.



Además, es posible modificar las condiciones de alimentación al vertedero: frontal, lateral y oblicua y las condiciones de aproximación mediante distintas disposiciones de fondo de embalse.

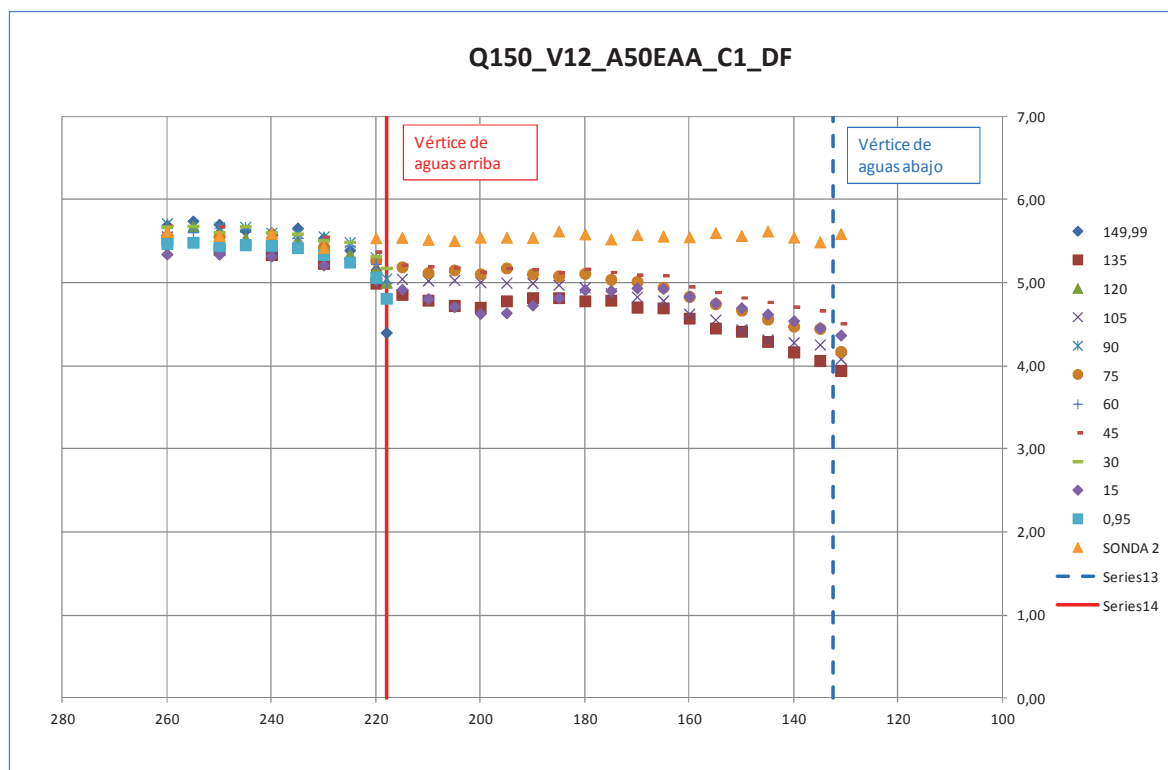
Se han construido 12 vertederos tipo laberinto distintos de los que se han ensayado 3 bajo distintas configuraciones y con caudales de hasta 150 l/s. Es necesario aumentar el caudal hasta al menos 500 l/s para entrar en rangos de funcionamiento típicos de este tipo de estructuras.

Se adjunta una fotografía de los vertederos.



Como se ha comentado, hasta el momento se han ensayado 3 vertederos en caudales que van desde 10 hasta 150 l/s y se han tomado lecturas de niveles para poder preparar perfiles longitudinales y transversales de la lámina en distintas zonas de la aproximación al vertedero.

Se adjunta un ejemplo de un gráfico formado mediante las lecturas de los limnógrafos palpadores en el ensayo del vertedero V16, para toda la gama de caudales ensayados. En el mismo se aprecian perfiles longitudinales de la lámina de agua en distintas alineaciones que pasan por los vértices de aguas abajo y de aguas arriba de los módulos del vertedero.



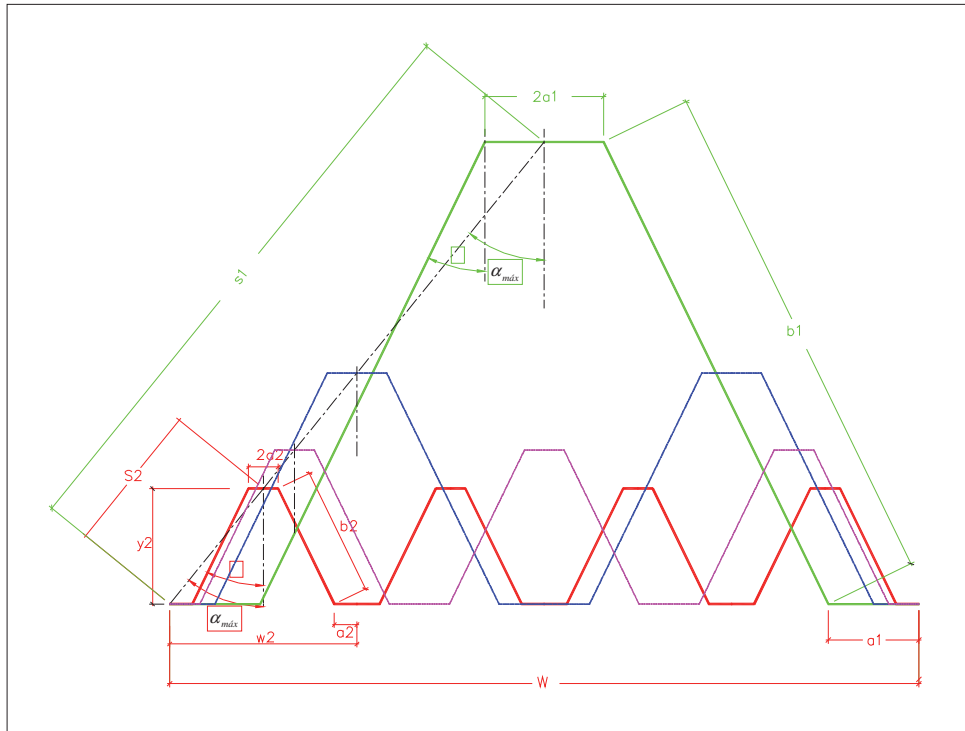
Se aprecia asimismo la lectura de la sonda de ultrasonidos que acompaña en el carro a los limnógrafos palpadores pero lateralmente a los mismos fuera de la influencia del vertedero.

## 4. Investigación por realizar

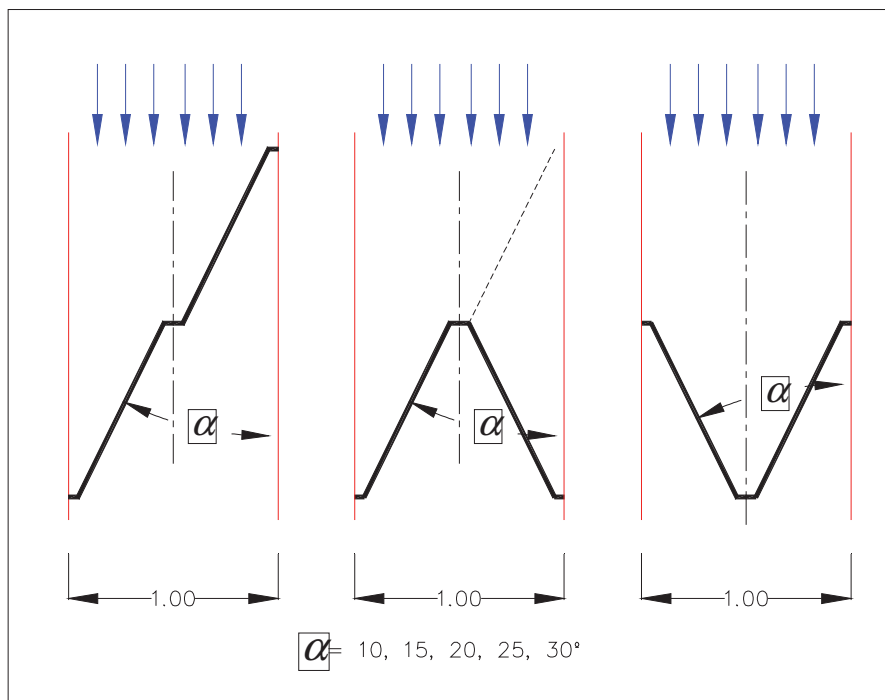
Una vez se dispone de la instalación preparada se va a proceder al ensayo de las 12 geometrías de vertedero distintas. El objetivo, como se ha dicho, es aislar los distintos fenómenos que inciden en el comportamiento de los laberintos: oblicuidad en las caras diagonales, interferencia de láminas en los vértices de aguas arriba y depresión progresiva de la lámina en los vértices de aguas abajo.

Es por ello que las 12 geometrías distintas se agrupan por vertederos que tienen los módulos homotéticos. Aquéllos vertederos que tengan la misma longitud, misma relación de amplificación de longitud y misma oblicuidad tendrán un comportamiento diferente en la medida en que se ven afectados de manera distinta afectado por lo que ocurre en los vértices del vertedero.

La comparación de los resultados del ensayo de cada uno de los 4 vertederos pertenecientes al primer grupo de homotecia permitirá cuantificar el efecto, a añadir a la oblicuidad del vertedero, de los fenómenos que tienen lugar en los vértices de aguas arriba y aguas abajo.



Asimismo está previsto realizar ensayos en un canal, tal y como se muestra en la siguiente figura:



En paralelo a los ensayos físicos se va a realizar una campaña de modelaciones numéricas que se calibraran con los ensayos físicos y que permitirán extrapolar resultados a geometrías no modeladas físicamente. Finalmente, se va a proceder a introducir una variable en el diseño de los aliviaderos tipo laberinto y que es la inclinación del paramento de aguas arriba de las distintas caras del vertedero para enlazar con las denominadas geometrías en "tecla de piano".

## **5. Conclusiones**

La Universidad Politécnica de Madrid, el CEDEX, el Centro Internacional de Modelación Numérica, y las empresas VEMSA Y JESÚS GRANELL Ingenieros Consultores están desarrollando un proyecto de investigación en materia de aliviaderos tipo laberinto.

El objetivo del proyecto es elaborar herramientas y procedimientos para el diseño razonado de este tipo de estructuras. A diferencia de otros procedimientos, el objetivo es que éste se base en los principales fenómenos hidráulicos que tienen lugar en los laberintos.

Para ello, se ha comenzado una campaña de ensayos en modelo físico y se encuentra prevista la modelación numérica de estas estructuras.

## **6. Referencias**

Dott. Ing. Bruno Gentelini, 1941. Stramazzi con cresta a pianta obliqua e a zig-zag. Memorie e Studi dell Istituto di idraulica e costruzione idrauliche del regio Politecnico di Milano.

.P. Tullis, N. Amand, D. Waldron, 1995. "Design of labyrinth spillways". Journal of Hydraulic Engineering, Vol 121, No 3.

Carlos Granell Ninot y Miguel Ángel Toledo Municio, 2010.. Los aliviaderos tipo laberinto. Un nuevo enfoque para su cálculo hidráulico.

## **7. Agradecimientos**

El proyecto de investigación está siendo posible gracias a la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad a través del programa INNPACTO 2012, en el proyecto POLILAB: DISEÑO DE DEL PROTOTIPO DE CUNA COMPUERTA FUSIBLE RECUPERABLE TIPO LABERINTO DE FONDO POLIÉDRICO PARA LA MEJORA DE LA SEGURIDAD HIDROLÓGICA DE LAS PRESAS.